Применение специальной одежды из материалов с антистатическими свойствами



В статье приведены краткие теоретические основы образования электростатического заряда на изолированных поверхностях, известные факторы, влияющие на зажигающую природу электростатических разрядов с поверхности одежды и от человеческого тела, а также предлагается методика по выбору антиэлектростатической спецодежды для применения во взрывоопасных зонах.



Сергей Юрьевич СКОКОВ

генеральный директор ООО «Кермель Арамид Солюшэнз»

Требования стандартов безопасности

Одежда с антистатическими свойствами в соответствии с ГОСТ 12.1.018–93 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования» (*далее* — ГОСТ 12.1.018–93) применяется для снижения электростатической искроопасности объектов.

Материалы антиэлектростатической специальной одежды (*далее* — спецодежда) должны иметь удельное поверхностное электрическое сопротивление не более 10^7 Ом (п. 2.10.1 ГОСТ 12.4.124–83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования»; *далее* — ГОСТ 12.4.124–83). Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления приведен в ГОСТ 19616–74 «Ткани и трикотажные полотна. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления» (*далее* — ГОСТ 19616–74).

Такая упрощенная концепция искробезопасности спецодежды все еще существует и преобладает в определенных кругах специалистов по охране труда, несмотря на отсутствие пояснений как она работает, в каких взрывоопасных зонах и при каких условиях.

Стандарты по взрывобезопасности, утвержденные в последние годы, устанавливают иные требования к электрическим свойствам материалов одежды с антистатическими свойствами. Например, в соответствии с пунктом 4.9 ГОСТ 31613–2012 «Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний» (*далее* — ГОСТ 31613–2012) для обеспечения соответствия специаль-

ной одежды требованиям электростатической искробезопасности необходимо, чтобы удельное поверхностное электрическое сопротивление ткани не превышало 10^9 Ом.

В современных стандартах безопасности приведены более информативные методы испытаний материалов защитной одежды, новые понятия и характеристики. Так, в разделе 4.1 ГОСТ Р ЕН 1149–5–2008 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная защитная. Электростатические свойства. Часть 5. Общие технические требования» (*далее* — ГОСТ Р ЕН 1149–5–2008) содержатся требования к ***материалу, рассеивающему электростатический заряд***. Такой материал должен иметь поверхностное сопротивление не более $2{,}5 \times 10^9$ Ом (удельное поверхностное электрическое сопротивление не более 5×10^{10} Ом), определяемое по методу, изложенному в стандарте EN 1149–1:2006 *«Protective clothing — Electrostatic properties — Part 1: Test method for measurement of surface resistivity»* (Одежда защитная. Электростатические свойства. Часть 1. Метод испытания для измерения поверхностного удельного сопротивления; *далее* — EN 1149–1) или обладать свойством убывания заряда, определяемым по методу, изложенному в стандарте EN 1149–3:2004 *«Protective clothing — Electrostatic properties — Part 3: Test methods for measurement of charge decay»* (Одежда защитная. Электростатические свойства. Часть 3. Методы испытания убывания заряда; *далее* — EN 1149–3).

Однако при разработке одежды для работы во взрывоопасных зонах недостаточно руководствоваться выборочными требованиями к материалам из понравившегося стандарта. Необходимо учитывать требования к заземлению работника и его одежды, состав материалов, из которых она сшита, условия окружающей среды, минимальную энергию зажигания (*далее* — МЭЗ) взрывоопасной среды, тип рабочей активности и соответствующую вероятность электризации одежды.


ВНИМАНИЕ!

ГОСТ Р ЕН 1149–5–2008 ИДЕНТИЧЕН ЕВРОПЕЙСКОМУ СТАНДАРТУ *EN 1149–5:2004 «PROTECTIVE CLOTHING — ELECTROSTATIC PROPERTIES — PART 5: GENERAL SPECIFICATIONS»* (ОДЕЖДА ЗАЩИТНАЯ. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ЧАСТЬ 5. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ», ДАЛЕЕ — EN 1149–5). В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ В ЕВРОСОЮЗЕ ДЕЙСТВУЕТ СТАНДАРТ EN 1149–5:2008.

Образование электростатического заряда

Образование электростатического заряда происходит при взаимном контакте и последующем разделении поверхностей двух твердых тел. Заряд возникает из-за того, что изначально электронейтральные атомы одного вещества теряют один или несколько электронов, приобретая положительный заряд, а атомы другого вещества присоединяют один или несколько электронов, приобретая отрицательный заряд. Это физическое явление называется ***контактной электризацией*** или ***трибоэлектризацией*** (от греческого *tribos* — тереть и *elektron* — янтарь) [1]. Свойство янтаря наэлектризовывать мех животных использовалось еще древними греками. Следует отметить, что споры по механизму переноса трибоэлектрических зарядов продолжаются до сих пор. Авторы различных теорий приписывают эту функцию электронам, ионам (потерявшим электронейтральность атомам) и даже самому веществу [1].

При контактной электризации любой материал может заряжаться как положительно, так и отрицательно в зависимости от того, с каким


ВНИМАНИЕ!

ГОСТ Р ЕН 1149–3–2008 «СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА. ОДЕЖДА СПЕЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТНАЯ. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ЧАСТЬ 3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ УБЫВАНИЯ ЗАРЯДА» (ДАЛЕЕ — ГОСТ Р ЕН 1149–3–2008) ИДЕНТИЧЕН ЕВРОПЕЙСКОМУ СТАНДАРТУ *EN 1149–3:2004 «PROTECTIVE CLOTHING — ELECTROSTATIC PROPERTIES — TEST METHODS FOR MEASUREMENT OF CHARGE DECAY»*.

вторым материалом он вступает в контакт. Путем экспериментов распространенные материалы были помещены в т. н. трибоэлектрические ряды по их склонности к приобретению положительного или отрицательного заряда *(рисунок).* Чем дальше находятся материалы друг от друга в трибоэлектрическом ряду, тем выше магнитуда вырабатываемого электростатического заряда при их взаимном контакте [2]. Знак трибоэлектрического заряда оказывает на его поджигающую способность не меньшее влияние, чем его величина.



Рис. Обобщенный трибоэлектрический ряд некоторых материалов

Ни одна физическая характеристика не может описать всех происходящих явлений трибоэлектризации, что подтверждает существование других, менее изученных, механизмов указанного феномена [1]. Все знания о нем преимущественно основаны на эмпирических данных и часто противоречивы. По этой причине наибольшее практическое значение для снижения электростатической искроопасности одежды имеют современные методы испытаний, основанные на прямых измерениях характеристик, пропорциональных заряду (например, напряженности электрического поля после накопления заряда, измеряемой в методике, приведенной в стандарте EN 1149–3), в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации. Взаимосвязи механизма образования статического заряда с удельным поверхностным электрическим сопротивлением не установлено [2]. Эта характеристика электрических свойств материалов не связана с характеристиками заряда.

К трибоэлектризации незаземленного работника приводят, например, такие распространенные типы активности, как ходьба по изолированному полу, вставание с кресла, снятие одежды.

Особенности применения спецодежды во взрывоопасных зонах

С 1 декабря 2017 года вводится в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 31610.32–1–2015/IEC/TS 60079–32–1:2013 «Взрывоопасные среды. Часть 32–1. Электростатика. Опасные проявления. Руководство» (*далее* — Руководство). Данный стандарт рекомендован в качестве дополнения и методического пособия к действующим стандартам ГОСТ 12.1.018–93, ГОСТ 31613–2012 и содержит конкретные рекомендации по применению спецодежды во взрывоопасных зонах, основанные на опыте развитых стран и ведущих международных нефтегазовых компаний.



ГОСТ 31610.32–1–2015/ IEC/TS 60079–32–1:2013 ИДЕНТИЧЕН МЕЖДУНАРОДНОМУ ДОКУМЕНТУ *IEC/TS 60079–32–1:2013 «EXPLOSIVE ATMOSPHERES — PART 32–1: ELECTROSTATIC HAZARDS, GUIDANCE»*, IDT («ВЗРЫВООПАСНЫЕ СРЕДЫ. ЧАСТЬ 32–1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ОПАСНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ. РУКОВОДСТВО»).

Порядок применения антистатической одежды во взрывоопасных зонах

Несмотря на то что одежда из синтетических тканей может легко наэлектризовываться, при надлежащем заземлении работника через рассеивающую обувь и полы нет риска возникновения зажигания. Применение рассеивающей одежды рекомендуется Руководством только при определенном сочетании вероятности электризации и присутствия газов и паров с низкими значениями МЭЗ *(таблица 1).*

Таблица 1

Порядок применения рассеивающей специальной одежды (в соответствии с Руководством)

<table>
<tr><th>Зона опасности</th><th>Вероятность заряда</th><th>0,02 мДж ≤ МЭЗ ≤ 0,2 мДж</th><th>МЭЗ > 0,2 мДж</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Зона класса 0</td><td>Высокая</td><td rowspan="4">Требуется</td><td>Требуется</td></tr>
<tr><td>Низкая</td><td rowspan="2">Рекомендуется</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Зона класса 1</td><td>Высокая</td></tr>
<tr><td>Низкая</td><td rowspan="3">Не требуется</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Зона класса 2</td><td>Высокая</td><td>Рекомендуется</td></tr>
<tr><td>Низкая</td><td>Не требуется</td></tr>
<tr><td>Зоны классов 20, 21 или 22</td><td>—</td><td colspan="2">Не требуется</td></tr>
</table>

Логика применения антистатической одежды учитывает две разные ситуации. Если МЭЗ взрывоопасной среды более 0,2 мДж, то может быть достаточно принятия мер по предотвращению образования статических разрядов на теле человека, а применение рассеивающей одежды только рекомендуется или вообще не требуется (кроме зоны класса 0 при высокой вероятности заряда). Минимальная энергия зажигания большинства распространенных взрывоопасных газов и паров превышает 0,2 мДж. Из всех углеводородов наибольшее значение МЭЗ

у метана (0,28 мДж), а наименьшее значение МЭЗ, по сравнению с любым другим углеводородом, не содержащим двойных, тройных или кольцевых связей, у бензола (0,2 мДж).

Вторая ситуация связана с атмосферами, МЭЗ которых менее 0,2 мДж. В этой ситуации энергии статических разрядов от одежды может быть достаточно для зажигания, что в большинстве случаев требует применения рассеивающей одежды. При выборе одежды для взрывоопасных зон с МЭЗ менее 0,02 мДж, например при наличии водородных атмосфер, необходимо консультироваться со специалистами.

Интервалы типовых значений МЭЗ приведены в *таблице 2*.

Таблица 2

Интервалы типовых значений МЭЗ (в соответствии с Руководством)

Наименование интервалов МЭЗ	Наименьшее значение в интервале, мДж	Наибольшее значение в интервале, мДж	Примеры
Высокие	> 10	—	Аммиак, дихлорметан, трихлорэтилен
Повышенные	> 0,28	10	Водородсодержащая органика
Обычные	0,20	0,28	Ароматические и алифатические углеводороды без двойных связей
Низкие	0,08	≤ 0,20	Этены (этилен), бутадиен, циклопропан, ацетальдегид, диэтиловый эфир, стирол
Очень низкие	—	< 0,08	Водород, этины, арсин, хлорсиланы, дисульфид углерода, оксид этилена, смеси топлив с кислородом

Требования к рассеивающей одежде

В соответствии с Руководством ***рассеивающая одежда*** определяется как одежда, материал и конструкция которой соответствуют требованиям стандарта EN 1149–5.

Материалы рассеивающей одежды должны иметь полупериод убывания заряда (t_{50}) менее 4 с или коэффициент экранирования (*S*) менее 0,2, определяемые по методу испытаний 2 стандарта EN 1149–3, или обладать поверхностным электрическим сопротивлением не более $2,5x10^9$ Ом (удельным поверхностным электрическим сопротивлением не более $5x10^{10}$ Ом), определяемым по методике, изложенной в стандарте EN 1149–1. Из-за принципа, лежащего в основе последнего метода измерений, он применим только к материалам с проводящей поверхностью и не информативен для оценки статической предрасположенности тканей с каркасными волокнами с проводящим сердечником.

Для материала, содержащего проводящие нити, расстояние между ними в одном направлении не должно превышать 10 мм.

Указанные требования стандарта EN 1149–5 (ГОСТ Р ЕН 1149–5) к материалам рассеивающей одежды не противоречат требованиям подпункта 4.7.9 Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» к материалам средств

индивидуальной защиты от воздействия статического электричества, то есть рассеивающая одежда является полноценным средством индивидуальной защиты.

Конструкция рассеивающей одежды должна позволять ей полностью покрывать остальную (не антистатическую) одежду, в т. ч. и при двигательной активности работника.

Если одежда состоит из нескольких слоев, то верхний слой должен удовлетворять указанным выше требованиям к рассеивающим материалам. Одежда должна быть правильно подогнана по размеру в соответствии со стандартом EN 340:2003 *«Protective clothing — General requirements»* (Одежда защитная. Общие требования; *далее* — EN 340:2003) и обеспечивать полную свободу движений в застегнутом состоянии в соответствии с инструкцией изготовителя.

Тонкие, не рассеивающие электростатический заряд детали (светоотражающие полосы, шевроны, необходимые для безопасности труда), допускаются, если постоянно закреплены таким образом, чтобы исключить трибоэлектрическое заряжание (трение с последующим разделением) при контакте с материалом одежды. Допускается использование токопроводящих деталей и фурнитуры (молний, пуговиц и т. д.), если они полностью закрываются материалом рассеивающей одежды при ношении во взрывоопасных атмосферах.

Руководство дополнительно рекомендует, чтобы рассеивающая одежда была настолько облегающей, насколько позволяет ее практичность, но в то же время во взрывоопасной среде, например, в зоне классов 0, 1, 20 и 21, она не должна быть слишком свободной, расклешенной и разлетающейся.

! ВНИМАНИЕ!

ГОСТ EN 340–2012 «СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА. ОДЕЖДА СПЕЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТНАЯ. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ» ИДЕНТИЧЕН ЕВРОПЕЙСКОМУ РЕГИОНАЛЬНОМУ СТАНДАРТУ EN 340:2003.

Электрический удар

Разряды статического электричества, проходящие через тело человека, могут вызвать у него электрический удар. К таким разрядам относятся кистевой, искровой и скользящий кистевой разряды.

Кистевой разряд может возникнуть, когда человек передвигается рядом или касается сильно заряженного диэлектрика (твердого или жидкого).

Искровой разряд происходит при контакте человека с сильно заряженными металлами или проводящими телами.

Скользящий кистевой разряд происходит, например, когда человек держит биполярно заряженный пластиковый лист либо касается сильно заряженных сыпучих материалов или гранул внутри больших пластиковых емкостей.

Если разрядная энергия более 350 мДж или переносимый заряд превышает 50 мкКл, такие разряды представляют непосредственную угрозу для здоровья. Кистевые и искровые разряды от небольших изолированных объектов (бочки, канистры, ручного инструмента) с энергией до 1 мДж не вызывают опасных для здоровья электрических ударов. Разряды с энергией в несколько миллиджоулей опасны из-за ответных


ВНИМАНИЕ!

ЕСЛИ НАЭЛЕКТРИЗОВАННОЕ ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА ПРЕДСТАВЛЯЕТ ОПАСНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННО ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ СРЕДЫ, ТО ОКРУЖАЮЩИЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ МОГУТ БЫТЬ ОПАСНЫМИ УЖЕ ДЛЯ САМОГО РАБОТНИКА.

движений человека, вызванных непроизвольным судорожным сокращением мышц. Такие движения могут привести к травмам от непреднамеренного контакта с движущимися механизмами или падению с высоты. Кроме того, электростатический разряд, проходящий через тело человека, может вызвать зажигание взрывоопасной среды или одежды, если она загрязнена воспламеняемыми веществами.

Для снижения статической предрасположенности материалов одежды в составе ткани часто используются металлические волокна, например, из нержавеющей стали, с низким удельным объемным сопротивлением. Металлические волокна в составе ткани не предотвращают опасности электрических ударов, и соответствующая одежда должна применяться в зонах, где такие риски исключены. Металлические волокна также могут причинять слабые неприятные покалывания, которые можно почувствовать в местах их соприкосновения с кожей, например на запястьях и шее. Эти покалывания — результат электростатического разряда между кожей человека и металлическими волокнами, а не прямое механическое воздействие, как иногда принято считать.

Современные каркасные волокна, рассеивающие электростатический заряд, имеют проводящий сердечник, изолированный снаружи. Принцип рассеивания электростатического заряда этими волокнами основан на явлении электростатической индукции, а не на электропроводящих свойствах поверхности, поэтому одежда из таких материалов более защищена от электрических ударов.

Требования к заземлению

Если человек изолирован от земли, например, подошвы его обуви и покрытия полов сделаны из диэлектрических материалов, то происходит его электризация. При соприкосновении наэлектризованного человека с проводящим предметом может произойти искровой разряд. Зажигания газов, паров или пыли могут возникнуть от зарядов, которые даже не ощущаются человеком.

Применение рассеивающей одежды начинается со взрывоопасных сред с МЭЗ ниже 0,2 мДж, а заземление человека требуется в средах с МЭЗ от 10 мДж и ниже. Указанная разница пороговых значений наглядно демонстрирует соотношение эквивалентной энергии зажигания электростатических разрядов с поверхности одежды и от человеческого тела.

Следовательно, требования стандартов безопасности к материалам антистатической специальной одежды актуальны только в том случае, если сам человек заземлен.

Для обеспечения заземления человека во взрывоопасных помещениях оборудуются проводящие или рассеивающие полы. Кроме того, работники обеспечиваются ***рассеивающей обувью***. Рассеивающие полы должны иметь сопротивления утечки от 1 до 10^8Ом. Такому требованию в производственных условиях соответствует, например, бетонный пол. Рассеивающая обувь — обувь, гарантирующая, что у работни-

OPPB_rus_12_2016_CS6.indd 62 25.11.2016 12:45:56

ка, стоящего на проводящем или рассеивающем полу, сопротивление с землей достаточно мало, чтобы гарантировать рассеивание заряда на землю, но при этом оно и достаточно велико, чтобы предотвратить сильный удар электрическим током при напряжении менее 500 В.

Стандарты безопасности предъявляют одинаковые требования к рассеивающей обуви: электрическое сопротивление между подпятником и ходовой стороной должно быть в интервале от 10^5 до 10^8 Ом. Обувь с электрическим сопротивлением ниже 10^5Ом считается ***проводящей*** и предназначена для лиц, обращающихся с чувствительными взрывчатыми веществами, ее не следует применять там, где присутствует риск поражения электрическим током. Обычно применяется рассеивающая обувь, кроме случаев обращения с особо чувствительными взрывоопасными веществами.

Там, где рассеивающая обувь не может обеспечить требуемого заземления работников, должны использоваться дополнительные заземляющие устройства.

В соответствии с Руководством рассеивающую одежду также следует заземлить посредством контакта с телом работника либо напрямую с землей. Требование к заземлению антиэлектростатической одежды содержится, в частности, в ГОСТ 12.4.124–83.

Таким образом, антиэлектростатическая (рассеивающая) одежда обеспечивает дополнительный уровень защиты от электростатических разрядов ***после заземления работника***, а не вместо его заземления.


ВАЖНО!

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ (РАССЕИВАЮЩЕЙ) ОДЕЖДЫ БЕЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЛЕЖАЩЕГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕ ИМЕЕТ ПРАКТИЧЕСКОГО СМЫСЛА И НЕ СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ, ДАЖЕ ЕСЛИ УДЕЛЬНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ОДЕЖДЫ НИЖЕ 107 ОМ.

Поджигающая способность электростатических разрядов

Разряды статического электричества с тела человека

Энергия разряда статического электричества (энергия заряда статического электричества перед разрядом) от тела человека может быть рассчитана по формуле для проводников:

$$W = 0,5 \cdot CU^2;$$

где C — электрическая емкость тела человека, Ф (в разных источниках от 95 до 304 пФ);
U — электрическое напряжение, имеющееся на человеке, В.

Считается, что тело человека может зарядиться до потенциала 20 кВ, что при емкости человеческого тела 150 пФ соответствует запасу разрядной энергии 30 мДж. Однако из-за высокого омического сопротивления кожи человека примерно две трети энергии заряда рассеивается на теле в виде тепла и только одна треть идет на зажигание, поэтому максимальная энергия зажигания электростатического разряда с тела человека составляет около 10 мДж.

Незаземленный человек может очень быстро зарядиться до максимального потенциала. В источнике [3] описан пример, когда изолированный от земли человек заряжался до 16 кВ всего после десяти

движений вверх-вниз валиком по стенкам резервуара, на которые он наносил герметик. Для зажигания стехиометрической метановоздушной смеси искровым разрядом между пальцем человека и заземленным электродом диаметром 1,0 мм его тело должно зарядиться до 6 кВ [4]. Такой потенциал соответствует энергии накопленного заряда 1,7 мДж, что в 4,4 раза превышает минимальную энергию зажигания указанной взрывоопасной смеси. Таким образом, большая часть энергии не идет на зажигание, а рассеивается в виде тепла.

При увеличении диаметра заземленного электрода до 12,0 мм для образования поджигающей искры потенциал тела человека должен быть уже 11 кВ. Таким образом, чем меньше диаметр заземленного электрода, тем меньший потенциал заряда тела нужен для зажигания взрывоопасной среды. Энергия заряда, накопленного незаземленным телом человека, может в сотни и даже в тысячи раз превышать минимальную энергию зажигания некоторых газов и мгновенно разряжаться через искровой разряд при контакте с заземленным проводником.

Разряды с одежды на человеке

Если не рассматривать высокочувствительных к зажиганию взрывоопасных сред, задокументированные и засвидетельствованные примеры возникновения пожаров или взрывов, вызванных статическими разрядами с тела человека, а тем более с поверхности одежды, нам неизвестны.

Накопление заряда на изолированных поверхностях одежды и на незаземленном проводнике, которым можно считать тело человека, — две очень разные ситуации. Значительная площадь поверхности и большое поверхностное электрическое сопротивление материалов одежды затрудняют быстрые искровые разряды в одну точку, поэтому только часть заряда может разрядиться [2]. Накопление значительного статического заряда какой-бы то ни было одеждой при условии надлежащего заземления человека маловероятно.

Тем не менее, при наличии высокочувствительных к зажиганию атмосфер, например водородовоздушной или ацетиленовоздушной смеси, должна приниматься во внимание вероятность возникновения поджигающих разрядов статического электричества с поверхности одежды [3].

Зажигающую способность статического электричества, накопленного на поверхности тканей одежды, можно определить по заряду в импульсе. Для этого используется осциллограф, электрод-датчик специальной конструкции для снятия заряда с поверхности ткани, интегрирующая RC-цепь, включаемая в цепь заземления датчика. Зная емкость системы, характеристику заряд-время электростатического разряда можно получить из характеристики напряжение-время, записанной осциллографом.

В работе [5] указанным способом были исследованы образцы из 100 %-ной хлопковой и 100 %-ной полиэфирной тканей диаметрами от 8 до 25 см, которые закреплялись в изолированной круглой рамке из плексигласа и наэлектризовывались положительно и отрицательно с

помощью, соответственно, тефлоновой и нейлоновой тканей, при различных значениях относительной влажности (RH).

Было установлено, что поджигающая способность разрядов статического электричества напрямую зависит от знака полученного заряда. Разрядные импульсы с поверхностей отрицательно заряженных тканей на порядок больше по амплитуде и значительно короче по времени, чем с положительно заряженных поверхностей. Искры с отрицательным зарядом в 0,1 мкКл могут зажечь стехиометрическую смесь природного газа с воздухом, а для зажигания водородновоздушной смеси достаточно искры с зарядом 0,02 мкКл. Вероятность зажигания во втором случае вдвое выше.

Максимальный разряд 0,563 мкКл наблюдался между поверхностью образца хлопковой ткани наибольшей площади и электродом наибольшего диаметра при минимальной относительной влажности RH = 15 %. Таким образом, в отличие от разрядов от тела человека, поджигающая способность разрядов с поверхности одежды прямо пропорциональна диаметру заземленного электрода.

Разрядов с поверхностей положительно заряженных тканей (за исключением 100 %-ной полиэфирной ткани при относительной влажности 15 %) недостаточно для поджигания стехиометрической смеси природного газа и воздуха, но при определенных условиях искровые разряды с поверхностей положительно заряженных тканей могут поджечь водородновоздушную смесь. Полученные результаты подтверждают необходимость применения антиэлектростатической одежды в особо чувствительных атмосферах с МЭЗ менее 0,2 мДж.

Влияние условий окружающей среды

Человек, идущий по нейлоновому ковру, при нормальной температуре и 40 % относительной влажности может зарядиться до 1,2 кВ, а при относительной влажности 30 % — уже до 3,0–3,6 кВ [2].

При снижении относительной влажности с 65 до 20 % (+20 °С) удельное поверхностное электрическое сопротивление арамидных тканей становится даже чуть ниже, чем у хлопка или хлопковых тканей с огнеотталкивающей пропиткой [6]. Электризация тела человека и его одежды зависит от количества влаги в окружающем воздухе.

В исследовании [5] электризуемость образца хлопковой ткани от трения с нейлоновым образцом увеличилась втрое при снижении относительной влажности с 50 до 15 % (+21 °С). На статический заряд аналогичным образом электризуемого образца полиэфирной ткани снижение относительной влажности существенного влияния не оказало. Это объясняется тем, что хлопковые волокна имеют высокую гигроскопичность, поэтому статическая предрасположенность хлопковых тканей сильно зависит от количества водяного пара в окружающем воздухе. При низких отрицательных температурах, когда абсолютная влажность стремится к нулю, хлопковые ткани теряют влагу и способны накапливать электростатический заряд наравне с тканями из синтетических волокон.

В соответствии с ГОСТ 19616–74 измерения удельного поверхностного электрического сопротивления тканей антистатической спецодежды проводятся в климатических условиях по ГОСТ 10681–75 (RH = 65 %, 20 С), соответствующих Батуми в середине мая, а вот носить одежду из этих тканей, возможно, будут на Ямале или в Красноярском крае в феврале. При существенной зависимости статической предрасположенности хлопковой одежды от окружающей температуры информативность измерений в климатических условиях ГОСТ 10681–75 сомнительна.

Измерения электрических характеристик материалов, используемых во взрывоопасных зонах при относительной влажности RH = 50 % и более, за рубежом больше не проводятся из-за низкой достоверности. Климатические условия испытаний актуальных стандартов предусматривают пониженную относительную влажность: RH = 25 %, 23 ^{o}C. В этих условиях, например, проводят измерения убывания заряда по методике, изложенной в стандарте EN 1149–3 (ГОСТ Р ЕН 1149–3–2008).

Таким образом, удельное поверхностное электрическое сопротивление материалов 10^7 Ом само по себе не делает одежду искробезопасной, а для рассеивающих материалов с каркасными волокнами данная характеристика вообще не применима. Только комплексный подход, использующий современные стандарты безопасности, актуальные методики и инновационные материалы, может эффективно решить задачу снижения искроопасности одежды во взрывоопасных зонах. Все вышеперечисленное, включая передовые зарубежные практики и инновационные рассеивающие материалы, сегодня доступно заинтересованным специалистам, стремящимся к обеспечению безопасности труда не на словах, а на деле.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Logan S. Mc Carty, George M. Whitesides. Electrostatic Charging Due to Separation of Ions at Interfaces: Contact Electrification of Ionic Electrets. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. — KGaA, Weinheim, 2008.

2. Jasti, Vamsi Krishna. Electrostatic Charge Generation and Dissipation on Woven Fabrics Treated with Antistatic and Hydrophilic Surface Finishes. — North Carolina State University, 2011.

3. Luttgens G., Wilson N. Electrostatic Hazards. — Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1997.

4. Wilson N. The Nature and Incendiary Behavior of Spark Discharger From The Body. — IOP Conf., 1979.

5. Wilson N. The Nature and Incendiary Behavior of Spark Discharger From Textile Surfaces. — Journal of Electrostatics (16), 1985.

6. Richard A. Scott. Textiles for Protection. — Woodhead Publishing Ltd & CRC Press LLC, 2005.